

БИОТЕСТИРОВАНИЕ ПОЧВ: ПОДХОДЫ И ПРОБЛЕМЫ*

© 2011 г. В. А. Терехова

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, 119071, Москва, Ленинский пр., 33

Факультет почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, 119992, Москва, Ленинские горы

e-mail: terekhova@mail.bio.msu.ru

Поступила в редакцию 27.01.2010 г.

Обзор посвящен анализу методологических подходов и организационных проблем биотестирования в разных сферах контроля почв: природоохранной, сельскохозяйственной, санитарно-эпидемиологической. Для повышения эффективности интегральной оценки экологической токсичности почв предлагается использовать целый спектр биотестов, с включением тест-организмов, представляющих основные трофические уровни экосистем: продуцентов, консументов, редуцентов.

ВВЕДЕНИЕ

Теоретической основой организации системы экологического контроля и мониторинга почв служат представления об их структурно-функциональной роли в биогеоценозах и биосфере [18, 19]. Необходимость диагностики качества почвы по биотическим показателям обоснована тесной взаимозависимостью “косного” и “биологического” начал. Биотические показатели могут дать информацию о трансформировании почвенной экосистемы, о состоянии организмов и степени приемлемости воздействий для сохранения разнообразия форм жизни и их сбалансированного развития. Аналитический контроль загрязнения, проводимый химическими методами, показывает наличие лишь “маркеров” — определенных концентраций загрязнителей, которые могут иметь неодинаковые последствия в регионах с разнообразными условиями среды обитания и разным составом обитающих видов живых организмов. Такая информация имеет ограниченное значение для прогноза структурно-функциональных изменений и оценки состояния биоты, а, следовательно, экосистем в целом.

В настоящее время после спада в конце 70-х годов прошлого столетия работы в области биологического контроля вновь переживают период активного развития. О расширении исследований в этом направлении свидетельствует, в частности, динамика публикаций, отражаемых в реферативно-библиографической базе данных Института научной информации США (ISI) Web of Science (<http://isiknowledge.com/>). По данным этой информационной системы, в период с 1977 по 2009 г. опубликовано более 4500 работ, посвя-

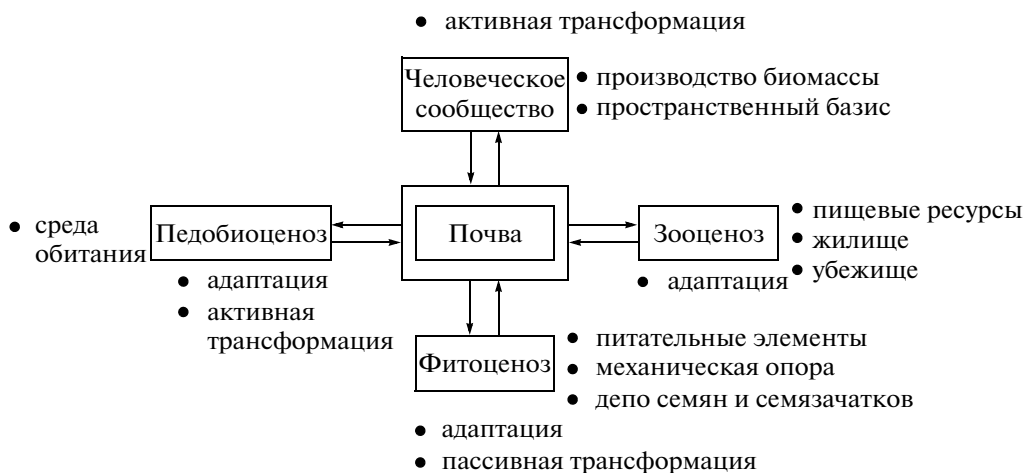
щенных методам биодиагностики, биоиндикации и биотестирования (biodiagnostic, bioindication and bioassay). При этом работ, посвященных биологическому контролю почв (в заголовке слова: biodiagnostic, bioindication, bioassay, soil), немного — за указанный период лишь 120, то есть в среднем 4 работы в год. Однако если бы для библиографического анализа при составлении базы данных Web of Science были доступны все работы российских авторов, эти показатели значительно возросли.

Существующие подходы к экологической оценке почв обусловлены разнообразием их функций на Земле. В свою очередь, роль почвы в экосистеме определяется многообразием требований и воздействий на почву со стороны живых организмов (рисунок) [1]. Соответственно этому многообразию функций, выполняемых почвой, в разных сферах деятельности человека: сельскохозяйственной, санитарно-эпидемиологической и природоохранной — сложились свои принципы и требования к схемам биотического контроля свойств почв [9].

Почвы агроценозов. По отношению к человеку почва издавна выполняет специфическую функцию жизнеобеспечения, являясь главным средством сельскохозяйственного производства и местом поселения людей.

Для сельскохозяйственных угодий важна, прежде всего, оценка почвенного плодородия, то есть способности почвы удовлетворять потребности растений в питательных веществах, влаге, воздухе, биотической и физико-химической среде. Плодородие почвы обеспечивает урожай сельскохозяйственных культур, а также биологическую продуктивность дикой растительности. Различают естественное и искусственное плодородие почвы. Для ведения мониторинга плодородия в Россий-

* Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН “Биологическое разнообразие”.



Многообразие требований и воздействий на почву со стороны живых организмов (по [1]).

ской Федерации по примеру многих других стран, в частности США, Канады и Германии, внедряется классификация почв по пригодности для сельскохозяйственного производства на основе зернового эквивалента (Распоряжение Правительства РФ от 1 октября 2005 г. № 1564-р. Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения). Оценка пахотных земель по степени пригодности и потенциальной урожайности распределяется по нескольким классам, где класс I, например, соответствует зерновому эквиваленту 55–61 ц/га. Средняя потенциальная урожайность в России в 2002 г. составила 23 ц/га, что соответствует классу V.

Качество почвы, ее геохимические показатели, избыточное количество токсических веществ, пестицидов, удобрений и т.п. влияют на всхожесть, созревание растений, развитие биомассы и качество продукции. Выбор определяемых химических и биотических показателей зависит от характера близлежащих предприятий (источников выбросов токсичных компонентов), состава средств химизации, применяемых в конкретной сельскохозяйственной местности, специфики природных географических, геологических условий и других факторов. При обосновании контрольных видов работ ориентируются на соответствующие нормативные документы (СанПиН 2.1.7.1287-03, ГОСТ 17.4.2.01-81, ГОСТ 17.4.3.06-86 и ГОСТ 17.4.2.03-86).

Распоряжение СанПиН 2.1.7.1287-03 устанавливает общие гигиенические требования к качеству почвы сельскохозяйственных угодий с учетом их специфики, почвенно-климатических особенностей населенных мест, фонового содержания химических соединений и элементов. В других стандартах приводятся показатели санитарного состояния почв, обязательные для от-

дельных видов землепользования, характеризующие санитарно-химические, санитарно-бактериологические, санитарно-гельминтологические и санитарно-энтомологические свойства.

Почвы поселений. Из способности почв накапливать и преобразовывать природные органические материалы и вещества техногенного происхождения вытекает их санитарная функция. С целью охраны здоровья человека и эпидемиологического благополучия в населенных пунктах проводится оценка качества почвы в соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями. В Российской Федерации требования СанПиН 2.1.7.1287-03, утвержденные Главным государственным санитарным врачом, предъявляются к качеству почвы в жилых кварталах, на территории строительства, в рекреационных зонах и др., где возможно влияние загрязненных почв на здоровье человека и условия проживания.

Нормативным документом регламентируется целый ряд биотических (санитарно-токсикологических) показателей: наличие возбудителей каких-либо кишечных инфекций, паразитарных заболеваний, патогенных бактерий, энтеровирусов, устанавливаются допустимые для чистых почв пределы индексов санитарнопоказательных организмов: бактериологических, паразитологических, энтомологических.

Природные почвы. Генерирование, поддержание и сохранение биологического разнообразия в природных экосистемах — одна из наиболее важных интегральных экологических функций почв в биосфере. Почва, являясь средой обитания для огромного числа организмов, ограничивает жизнедеятельность одних видов и стимулирует активность других. В мире выявлены десятки тысяч почвенных форм, различающихся

структурной организацией и параметрами среды обитания. Большое разнообразие почвенных свойств по пищевым ресурсам, влагоемкости, порозности, кислотности, солености, окислительным и восстановительным условиям и т.д. создает огромные возможности для адаптации и размножения различных организмов.

Однако система требований и нормативов, регламентирующих применение биотических методов в целях сохранности почв в природных комплексах, в настоящее время окончательно не сформирована. Это объясняется, в первую очередь, незавершенностью разработки концепции экологического нормирования в области охраны окружающей среды и рационального природопользования в целом. В современной структуре нормативно-правового обеспечения экологического нормирования наблюдается крайняя неравномерность в обеспечении разных его направлений нормативно-методическими документами: из 500 существующих 104 по воде и лишь 2 по почвам [12].

В основном природоохранном законе нашей страны – “Законе об охране окружающей среды” – выделяются нормативы качества окружающей среды и нормативы допустимого воздействия на окружающую среду. Закон дает лишь общие представления о нормативах и необходимых требованиях к параметрам природных экосистем. Нормативы качества окружающей среды устанавливаются для оценки состояния окружающей среды в целях сохранения естественных экологических систем, генетического фонда растений, животных и других организмов. Закон предусматривает применение нормативов, установленных в соответствии с химическими (ПДК и др.), физическими (уровни радиоактивности, тепла и др.) и биологическими показателями состояния окружающей среды.

Вопросы нормативно-правового обеспечения экологической оценки и охраны почв естественных биогеоценозов остаются открытыми. Тогда как основные методические подходы и методологические аспекты реализации биотического контроля почв и других элементов окружающей среды в научной литературе биологами освещены достаточно полно.

В совершенствовании контроля природных объектов по биотическим показателям наиболее заметны достижения гидробиологов и фитоценологов. Почва как многоуровневая система и гетерогенная среда представляет большую сложность для организации оценки экологического качества и экосистемного нормирования вредных воздействий. Важной ее особенностью, как известно, является большая пространственная неоднородность [5]. Пространственная изменчивость вме-

сте с временной (сезонной, годовой) вариабельностью активности биотических комплексов значительно усложняет экологическую оценку почв. В определенной степени повысить надежность измерения экологической токсичности почв как по химическим, так и биологическим показателям можно увеличением числа повторных измерений [11].

БИОТЕСТИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТОКСИЧНОСТИ ПОЧВ

Эффективным методом оценки потенциальной опасности химического, физического или биологического воздействий на почву, считается биотестирование. Биотестирование осуществляется экспериментально с использованием, как правило, стандартизованных лабораторных тест-систем, путем регистрации изменений биологически важных показателей (тест-реакций) под воздействием исследуемых проб с последующей оценкой их состояния в соответствии с выбранными критериями токсичности. Тест-система представляет собой пространственно ограниченную совокупность чувствительных биологических элементов (сенсоров) и исследуемой среды, в которой они находятся.

Для обозначения основных составляющих тест-систему элементов в русскоязычных источниках широко применяются термины тест-объект и тест-культура (или тест-организм). При этом тест-объект правильно трактовать как пробу или образец, который подвергается исследованию и оказывает воздействие, вызывая тест-реакцию. Тест-культура – лабораторная популяция особей, как правило, одного вида живых организмов (тест-организмов), искусственно поддерживаемая (культивируемая) на питательной среде в стандартных условиях и используемая при оценке токсичности при биотестировании. Фактически живая система (популяции культуры клеток, организмы или их элементы) выполняет функции чувствительного датчика, получающего сигнал от воздействующего объекта. Поэтому, подобно тому, как это принято в англоязычной литературе, применительно к этому элементу тест-системы логично употреблять термин “сенсор”. Чувствительность сенсоров контролируется по модельному токсиканту (аналог “стандартного образца” в аналитических химических измерениях), регламентированному соответствующей стандартизованной методикой. Под термином же “тест-организм” предлагается подразумевать систематическое наименование вида организма, элементы или целые особи которого используются в качестве сенсоров.

Цели биотестирования различны в разных сферах приложения [10, 24, 32]. Биотесты проводят-

ся для определения общей токсичности, мутагенности и канцерогенности. Воздействие в тест-системе измеряется посредством имитации возможных путей поступления вредного вещества в организм, поэтому основными тестируемыми объектами являются водные среды. В качестве биологических чувствительных сенсоров выступают гидробионты: простейшие, водоросли, ракообразные, моллюски, рыбы и др. Изучение токсичности твердых компонентов окружающей среды (почв, донных осадков, грунтов, отходов и т.п.) считают опосредованным способом воздействия на биосенсор [12]. В этом случае используют водные вытяжки или поровые воды указанных сред. Возможно проведение биотестов и в фазе взвешенных частиц.

Все же большая часть методик биотестирования основана на анализе водной вытяжки, это так называемое *элюатное биотестирование*. В то время как воздействие нерастворимых загрязнителей может быть оценено *контактным (аппликатным) способом*. Для контактного биотестирования почв целесообразно использовать микроорганизмы, которые являются основными агентами разложения органического вещества и гумусообразования.

Одним из перспективных методов, фиксирующих перестройку функционального состояния микробного сообщества почв в условиях загрязнения, по изменению спектра поглощаемых субстратов, является метод мультисубстратного тестирования [4]. Однако на данном этапе в ходе анализа почв этим способом исследуется водная вытяжка. Для адекватной оценки почвенных образцов необходимо оценивать в биотест-системе и твердую фазу почв. Кроме того, для широкого использования в практических целях, необходима метрологическая аттестация, включение ее в Государственный реестр методик экологического контроля, рассмотрение возможности организации серийного производства оборудования.

Биологические методы, как правило, обладают высокой чувствительностью, улавливают более низкие концентрации веществ, чем аналитические датчики, к тому же, отмечают, что по информативности для оценки последствий вредного воздействия на окружающую природную среду превосходят физико-химические методы анализа. Принято считать, что биотестирование дает информацию о неблагополучии в опережающем режиме, до проявления видимых изменений в природных экосистемах. Биотестирование в качестве метода, дополняющего биоиндикацию и химико-аналитический комплекс, обладает рядом несомненных достоинств. Биотесты позволяют фиксировать негативные изменения при относительно слабых антропогенных нагрузках. В тест-реакции суммируется действие всех биологически вредных

факторов, включая физическое и химическое воздействие. Стоит подчеркнуть, что токсичность — количественная мера. Ориентируясь на величину медианной летальной концентрации (LC_{50}), принимаю как основной показатель токсичности химических веществ в общей токсикологии, токсичность определяют как величину обратной медианной летальной концентрации, устанавливаемой за 48 ч [17]: $T = 1/LC_{50}^{48}$.

Практическая востребованность методов биотестирования. Заметно возросший интерес к биоиндикационным исследованиям в значительной мере обусловлен потребностями практики, и, прежде всего, необходимостью совершенствовать систему экологического контроля. Выявление надежных и адекватных методов оценки экологического качества окружающей среды стало особенно актуальным в связи с масштабными биоэкологическими и социально-техническими изменениями на Земле (климатическими колебаниями, инвазиями видов, транспортными потоками, электромагнитными излучениями и др.). Глобальная деградация природы в большей степени обусловлена запредельным загрязнением почвы. Разные формы воздействия человека на природные комплексы (расширение площадей сельскохозяйственных угодий, урбанизация, развитие промышленности и транспортных сетей) приводят к преобразованию биотопов и интенсивному насыщению ксенобиотиками.

Помимо задач экологической оценки природных сред (почвы и воды) биотесты востребованы в других сферах. Например, биотестирование применяется для экспериментального установления класса опасности отходов производства и потребления. В нашей стране этот способ регламентирован Приказом № 511 Министерства природных ресурсов РФ, которым утверждены 2001 г. “Критерии отнесения опасных отходов к определенному классу опасности”. Результаты биотестирования используются при сертификации различных биопрепаратов, сорбентов нефтепродуктов и других токсикантов, контроле качества биоремедиации воды и почвы [21].

В нашей работе методы биотестирования нашли применение при экологической сертификации микробиологических препаратов, рекомендованных для очистки природных объектов от нефтяных загрязнений на территории Салымского нефтяного месторождения в Сибири, в Усинском районе Республики Коми [26], на акватории Балтийского моря [16, 36]. Результаты биотестов используются и для контроля качества восстановительных работ на нарушенных участках почв.

Биотестирование как метод исследования используют специалисты различных областей науки: в экологической токсикологии для анализа

вод и почв, в гуманитарной и ветеринарной медицине для исследования свойств внутренних сред высших организмов, в сельском хозяйстве для экспресс-тестирования кормов на общую токсичность, в химии для первичной оценки свойств новых веществ и т.п. Особый интерес в последние годы вызывают исследования экологической токсичности наноматериалов, в том числе и потенциальных загрязнителей почв [27, 33, 34].

Методические и организационные проблемы применения биотестов к анализу почв. В нашей стране в разных сферах производственной деятельности (сельскохозяйственной, медицинской и природоохранной) используются наборы биотестов, регламентированные к применению для оценки качества почв приказами соответствующих министерств, методическими указаниями и руководствами. Установлены реестры методик экотоксикологического анализа в трех разных сферах: контроле агроценозов (при оценке безопасности продукции и плодородия почв), санитарно-эпидемиологическом контроле (при определении уровня вредных воздействий относительно безопасности для здоровья человека) и экологическом контроле природных экосистем (с целью характеристики биоразнообразия и сбалансированного развития). Известно несколько десятков методик биотестирования, но лишь около десяти из них внесены в федеральный реестр (ФР) и реестр природоохранных нормативных документов (ПНД Ф) как рекомендованные для целей практического экологического контроля окружающей среды, включая почву.

Приведем список, стандартизованных методик биотестирования, рекомендованных в настоящее время для целей токсикологического контроля почв и других объектов с указанием кодов регистрации и разработчиков.

ФР.1.39.2007.03222. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний (ООО “Акварос”).

ФР.1.39.2007.03221. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости цериодафний (ООО “Акварос”).

ФР.1.39.2007.03223. Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей (ООО “Акварос”).

ФР.1.39.2006.02506. ПНД Ф Т 14.1:2:3.13-06 (ПНД Ф Т 16.1:2.3:3.10-06). Методика определения токсичности отходов, почв, осадков сточных, поверхностных и грунтовых вод методом биотестирования с использованием равноресничных

инфузорий *Paramecium caudatum* Ehrenberg (факультет почвоведения МГУ).

ФР 1.39.2006.0250. ПНД Ф Т 14.1:2.14-06 (ПНД Ф Т 16.1:3.11-06). Методика определения токсичности высокоминерализованных поверхностных и сточных вод, почв и отходов по выживаемости солоноватоводных рачков *Artemia salina* L. (факультеты почвоведения МГУ, биологический факультет МГУ, ЭАЦ “Экотерра”).

ФР.1.39.2007.04104. ПНД Ф Т 16.3.12-07. Методика определения токсичности золошлаковых отходов методом биотестирования на основе выживаемости парамеций и цериодафний (факультет почвоведения МГУ и ОАО “Всероссийский теплотехнический институт”).

ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 (ПНД Ф Т 16.1:2.3:3.7-04). Методика определения токсичности проб поверхностных пресных, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer). (Красноярский государственный университет).

ПНД Ф Т 14.1:2:4.12-06 (ПНД Ф Т 16.1:2:3:3.9-06). Методика определения токсичности водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов, питьевой, сточной и природной воды по смертности тест-объекта *Daphnia magna* Straus. (Красноярский государственный университет).

ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04 (ПНД Ф Т 16.1:2.3:3.8-04). Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению интенсивности бактериальной биолюминесценции тест-системой “Эколюм” на приборе “Биотокс-10” (ООО НЦ “Экологическая перспектива”).

ПНД Ф Т 16.2:2.2-98. Методика определения токсичности почвы и донных осадков по хемотаксической реакции инфузорий (АОЗТ “Спектр-М”).

ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.2-98. Методика определения токсичности воды по хемотаксической реакции инфузорий (АОЗТ “Спектр-М”).

ПНД Ф 14.1:2:4:15-09 (16.1:2:2.3:3.13-09) ФР.1.31.2009.06301. Методика выполнения измерений индекса токсичности почв, почвогрунтов вод и отходов по изменению подвижности половых клеток млекопитающих *in vitro* (факультет почвоведения МГУ, Институт экологического почвоведения МГУ, ЗАО ФИРМА “БМК-ИНВЕСТ”, ООО НПФ “Биогнозис”, ЭАЦ “Экотерра” и Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН).

Как видно, широко используемые в экотоксикологическом контроле методики, главным образом, основаны на реакциях гидробионтов разной таксономической принадлежности: низших ра-

кообразных, зеленых протококковых водорослей, равноресничных инфузорий [6, 14, 15, 20–23, 25, 27, 29]. Оценка воздействия токсикантов производится на основании подсчета показателей смертности особей, плодовитости, подавления прироста численности популяции клеток водорослей, потере подвижности инфузорий и др. Кроме того, для анализа природных сред и техногенных объектов рекомендованы люминесцентные бактерии (лиофильно высушенный препарат “Эколюм”). Тест-функцией в этом случае служит уменьшение интенсивности свечения препарата под влиянием токсиканта.

Для анализа почв в агроценозах обычно применяются семена высших растений. Тест-параметрами для них служат показатели прорастания: всхожесть, энергия прорастания, дружность прорастания, скорость прорастания, а также показатели интенсивности начального роста семян (длина корней, длина зеленых проростков, масса корней, масса зеленых проростков). Согласно наиболее распространенным методическим указаниям, лучшие результаты дают мелкие семена (кресс-салат, редис, горчица, пшеница и др.) с небольшим запасом питательных веществ, а следовательно, более подверженные воздействию влияния внешних факторов. Однако зачастую используются крупные семена. В зависимости от целевого использования почв агроценозов под посев тех или иных культур испытания проводят на семенах однодольных (злаковых) или двудольных растениях. Более интегрированный подход опубликован бельгийскими авторами методики Phytotoxkit Microbiotest (MicroBioTests Inc., Belgium). Методика предполагает использование семян трех видов, среди которых двудольные растения: *Lepidium sativum* и *Sinapis alba* и однодольное — *Sorghum saccharatum*. Степень фитотоксичности почвы оценивается по ингибированию роста и развития молодых растений на исследуемых образцах относительно эталонной почвы (в соответствии со стандартом ISO 11269-1).

Почва как чрезвычайно гетерогенная среда с большим количеством питательных элементов методически представляет собой сложный объект для биотестирования. Результат экспериментального тестирования почв во многом определяется процедурой подготовки проб к биологическому исследованию, условиями биотестирования и выбором тест-организма. Известно, например, что присутствие большого количества биогенных элементов в водной вытяжке из почвенных образцов затрудняет применение зеленых протококковых водорослей для биотестирования экотоксичности почв. Также показано, что изменение солености водных растворов влияет на устойчивость солоноватоводных рачков *Artemia salina* к воздействию загрязнителей.

Для повышения эффективности биотестирования необходимо совершенствовать процедуру отбора репрезентативных проб и оптимизировать условия подготовки проб с учетом особенностей химического и агрегатного почвенных образцов [2].

Современный этап характеризуется обилием работ по сравнению эффективности существующих методик биотестирования [28–31, 33]. В ходе анализов наиболее распространенных групп загрязнителей: тяжелых металлов, нефти и нефтепродуктов, хлорорганических соединений и т.п. — накоплено достаточно данных, свидетельствующих о том, что чувствительность биотест-систем зависит от химической природы поллютантов.

В качестве примера рассмотрим результаты проведенного нами сравнения чувствительности некоторых стандартных биотестов к разным видам загрязнений в ходе экспериментального определения токсичности более 500 образцов почв и отходов различного происхождения [3]. Образцы, загрязненные нефтью и нефтепродуктами, по сравнению с другими видами загрязнений оказали наибольшее токсическое действие на стандартизованные организмы: рачков *Daphnia magna* и простейших *Paramecium caudatum*. Выявлено, что самым чувствительным является тест на дафниях, существенно меньшей чувствительностью характеризуется тест на простейших. При этом тестирование на простейших образцов, загрязненных тяжелыми металлами, было весьма эффективным.

Очевидно, что предусмотренный стандартными методиками анализ водной вытяжки из загрязненных почв не в полной мере отражает степень потенциальной опасности загрязненных образцов, поскольку часть токсичных компонентов связывается в почве и не переходит в раствор.

Отсюда следует, что для разных видов поллютантов необходимо подбирать методы с учетом диапазона их чувствительности. Кроме того, надо расширять спектр методик биотестирования, предназначенных для экотоксикологической оценки почв. Наиболее адекватная оценка токсичности почв, очевидно, может быть получена в биотест-системах с применением почвообитающих организмов, то есть педобионтов. Так, надежными представляются контактные методы определения качества почв по реакции микроорганизмов, однако, к сожалению, авторы работ в этом направлении не занимаются внедрением новых методов.

В научных целях в биотестах часто применяются некоторые зоологические виды: энхетреиды, дождевые черви [8, 13 и др.]. Международные стандарты и методические руководства, например, организации экономического сотрудничества и развития, регламентирующие, в частности, приме-

нение культуры дождевых червей для анализа почв, используются в нашей стране. Распространены же они в основном лишь в контроле качества пестицидов при их сертификации [35]. Однако и эти методы, в соответствии с существующими в нашей стране правилами организации экологического контроля, не используются для оценки загрязненности природных почв или в других видах испытаний. Для этих целей методики должны быть стандартизованы и внесены в соответствующие государственные природоохранные реестры методик выполнения измерений. Таким образом, внедрение метрологически аттестованных методик биотестирования почв, основанных на реакции почвообитающих организмов, остается одной из актуальных задач совершенствования биотического контроля.

Парадоксально еще и то, что в ряде случаев используются одни и те же виды тест-организмов и, соответственно, оцениваются одни и те же тест-реакции. Однако нередко результаты интерпретируются по-разному. Яркой иллюстрацией сказанному могут быть существующие подходы к определению классов опасности отходов в разных ведомствах: в соответствии с Приказом Министерства природных ресурсов России от 15.06.2001 г. № 511 “Об утверждении Критериев отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды” следует выделять 5 классов опасности отходов, а согласно Санитарным правилам СП 2.1.7.1386-03, введенным 30.06.2003 г., установлено 4 класса опасности токсичных отходов производства и потребления. Более того, для одной и той же тест-системы или метода, используемого разными службами, нередко различаются процедуры подготовки проб к биотестированию (в частности, соотношение воды и твердого компонента при выщелачивании образцов твердых сред варьируют от 1 : 2 до 1 : 5) и т.д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Биотестирование востребовано в разных сферах контроля экологического качества почв: природоохранной, сельскохозяйственной, санитарно-эпидемиологической. Существуют организационные сложности из-за межведомственных барьеров в согласованном использовании одних и тех же методов и интерпретации результатов биотестов.

Спектр тест-организмов широк, однако ни один из видов не может служить универсальным сенсором, в равной степени чувствительным ко всем экологическим факторам, из-за избирательности действия потенциальных токсикантов. Если следовать традиционным подходам и произвольно выбирать два тест-организма разной таксономической принадлежности, то не всегда

можно дать адекватную оценку экологической токсичности природных сред и объектов окружающей среды. За рубежом существует представление о целесообразности использования в качестве тест-культур для экспрессных анализов представителей трех основных звеньев трофической (пищевой) цепи биогеоценозов: продуцентов, консументов, редуцентов. Это рациональное предложение согласуется с экосистемным подходом и его, на наш взгляд, необходимо внедрить в практику биотестирования на территории Российской Федерации. Минимальный набор биотестов должен быть расширен хотя бы до трех необходимых испытаний. Как известно, трофическая цепь в природных биоценозах включает такие основные группы организмов, как автотрофные растения, создающие органические вещества из неорганических — *продуценты*; гетеротрофные растительноядные и паразитирующие организмы, питающиеся готовыми органическими веществами за счет автотрофов, то есть “потребители” — *консументы* и питающиеся разлагающимися остатками организмов сапрофаги, способствующие минерализации органических веществ, их переходу в усвояемое продуцентами состояние, то есть “восстановители” — *редуценты*. Такой научно-обоснованный подход, на наш взгляд, должен быть положен в основу совершенствования практически востребованной системы биотестов. На наш взгляд, необходимо использовать целый спектр биотестов, в который целесообразно включить представителей основных трофических уровней. Заключение же о качестве исследуемого образца можно делать либо по наиболее чувствительному тест-отклику, либо на основании расчетов суммарного эффекта биотестов, как например, рекомендовано для определения интегрального показателя биологических свойств почвы [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Апарин Б.Ф.* Почвы и биоразнообразие // Теоретические основы биоразнообразия. Мат-лы семинара. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2000. С. 23–26.
2. *Бурдина В.М., Соболева А.Н., Дик Э.П., Терехова В.А.* Эффект разных способов нейтрализации на определение экотоксичности отходов ТЭС // Экологические системы и приборы. 2007. № 10. С. 37–41.
3. *Бурдина В.М., Терехова В.А.* Анализ эффективности методик биотестирования в экологической оценке загрязненных почв и отходов различного происхождения // Проблемы биодеструкции техногенных загрязнителей окружающей среды. Мат-лы межд. конф. Саратов, 2005. С. 125–126.
4. *Горленко М.В., Кожевин П.А.* Мультисубстратное тестирование природных микробных сообществ: М.: МАКС Пресс, 2005. 88 с.

5. *Дмитриев Е.А.* Теоретические и методологические проблемы почвоведения. М.: ГЕОС, 2001. 374 с.
6. *Жмур Н.С.* Государственный и производственный контроль токсичности методами биотестирования в России. М.: Международный дом сотрудничества, 1997. 114 с.
7. *Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф.* Экологическое состояние и функции почв в условиях химического загрязнения. Ростов-на-Дону: Ростиздат, 2006. 385 с.
8. *Максимова С.В., Степачев А.В., Домашнев Д.Б., Рахлеева А.А., Терехова В.А.* Биотестирование почвогрунтов при разном содержании фосфорно-калийных компонентов и засолении по реакции дождевых червей *Aporrectodea rosea* // Бюл. Моск. общ. испытателей природы. Отдел биологический. 2009. Т. 114. Вып. 3. Прил. 1. Ч. 2. Экология. Природные ресурсы. Рациональное природопользование. Охрана окружающей среды. С. 46–50 (561–565).
9. Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель // Сб. нормативных актов “Охрана почв”. М.: Изд-во РЭФИА, 1996. С. 174–196.
10. Методическое руководство по биотестированию воды РД 118–02–90 / Гос. комитет СССР по охране природы. М., 1991. 48 с.
11. *Мотузова Г.В.* Содержание, задачи и методы почвенно-экологического мониторинга // Почвенно-экологический мониторинг и охрана почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1994. 272 с.
12. *Опекунов А.Ю.* Экологическое нормирование и оценка воздействия на окружающую среду. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2006. 260 с.
13. *Пижл В.* Значение дождевых червей как биоиндикаторов загрязнения почвы пестицидами // Экология. 1989. № 5. С. 86–88.
14. *Рахлеева А.А., Терехова В.А.* Методика определения токсичности отходов, почв, осадков сточных, поверхностных и грунтовых вод методом биотестирования с использованием равноресничных инфузорий *Paramecium caudatum* Ehrenberg (ФР. 1.39.2006.02506). М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. 30 с.
15. Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов. М.: РЭФИА, НИА–Природа, 2002. 118 с.
16. *Сребняк Е.А., Терехова В.А., Федосеева Е.В., Ботвинко И.В., Винокуров В.А.* Биопрепарат “Морской снег” для восстановления акваторий, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, и его экотоксикологическая оценка // Экология и промышленность России. 2008. № 9. С. 42–44.
17. *Строганов Н.С.* Методика определения токсичности водной среды // Методики биологических исследований по водной токсикологии. М.: Наука, 1971. С. 14–59.
18. Структурно-функциональная роль почв в биосфере / Под ред. Г.В. Добровольского. М.: ГЕОС, 1999. 278 с.
19. Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере / Под ред. Г.В. Добровольского. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. 364 с.
20. *Терехова В.А.* Биоиндикация и биотестирование в экологическом контроле Использование и охрана природных ресурсов в России // Информационно-аналитический бюл. 2007. № 1 (91). С. 88–90.
21. *Терехова В.А., Арчегова И.Б., Хабибуллина Ф.М., Пугачев В.Г., Тулянкин Г.М.* Экотоксикологическая оценка биосорбента нефти с целью сертификации // Экология и промышленность России. 2006. № 3. С. 34–37.
22. *Терехова В.А., Дик Э.П., Рахлеева А.А., Соболева А.Н., Вавилова В.М.* Методика определения токсичности золошлаковых отходов методом биотестирования на основе выживаемости парамеций и церидафний (ФР. 1.39.2007.04104; ПНД Ф Т 16.3.12-07) М.: Изд-во Моск. ун-та, 2008. 31 с.
23. *Терехова В.А., Исакова Е.Ф., Ибатуллина И.З., Самойлова Т.А.* Методика определения токсичности высокоминерализованных поверхностных и сточных вод, почв и отходов по выживаемости солоноватоводных рачков *Artemia salina* L. (ФР. 1.39.2006.02505) М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. 26 с.
24. *Филенко О.Ф.* Область применения методов биотестирования // Методы биотестирования качества водной среды. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. С. 119–122.
25. *Филенко О.Ф., Исакова Е.Ф.* Компенсаторные изменения в ответе дафний на летальные воздействия // Реакция гидробионтов на загрязнение. М.: Наука, 1983. С. 135–139.
26. Экологические основы оптимизированной технологии восстановления нефтезагрязненных природных объектов на Севере / Под ред. Г.М. Тулянкина, И.Б. Арчеговой. Сыктывкар: КНЦ УрО РАН, 2007. 140 с.
27. *Baun A., Sorensen S.N., Rasmussen R.F., Hartmann N.B., Koch C.B.* Toxicity and bioaccumulation of xenobiotic organic compounds in the presence of aqueous suspensions of aggregates of nano-C60 // Aquatic Toxicology. 2008. V. 86. Iss. 3. P. 379–387.
28. *Blinova I.* Comparison of the Sensitivity of Aquatic Test Species for Toxicity Evaluation of Various Environmental Samples // New Microbiotests for Routine Toxicity Screening and Biomonitoring / Eds.: G. Persoone, C. Janssen, W. De Coen. Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2000. Ch. 22. P. 217–220.
29. *Chandra Ram, Pandey Praveen K., Srivastava Archana.* Comparative toxicological evaluation of untreated and treated tannery effluent with *Nostoc muscorum* L. (Algal assay) and microtox bioassay // Environ. Monit. and Assess. 2004. V. 95 № 1–3. С. 287–294.
30. *Cabrera G.L., Rodriguez D.M.* Genotoxicity of soil from farmland irrigated with wastewater using three plant bioassays // Mutat Res. 1999. V. 19. № 426(2). P. 211.

31. *Canna-Michaelidou, Nicolaou A.S., Neopfytoy E., Christodoulidou M.* The use of a battery of microbiotests as a tool for integrated pollution control: evaluation and perspectives in cyprus // *New Microbiotests for Routine Toxicity Screening and Biomonitoring* / Eds.: G. Persoone, C. Janssen and W. De Coen. Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2000. Ch. 4. P. 39–48.
32. *Dubova L., Zarina Dz.* Application of toxkit microbiotests for toxicity assessment in soil and compost // *Environmental Toxicology*. 2004. V. 19. № 4. P. 274–279.
33. *Heinlaan M., Ivask A., Blinov I., Dubourguier H.-Ch., Kahru A.* Toxicity of nanosized and bulk ZnO, CuO and TiO₂ to bacteria *Vibrio fischeri* and crustaceans *Daphnia magna* and *Thamnocephalus platyurus* // *Chemosphere*. 2008. V. 71. Iss. 7. P. 1308–1316.
34. *Lin D.* Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root growth // *Environmental Pollutants*. 2007. V. 150. Iss. 2. P. 243–250.
35. OECD Guideline for testing of chemicals // *Earthworm, Acute Toxicity Tests*. № 207. Adopted 4. 1984.
36. *Terekhova V., Botvinko I., Vinokurov V., Srebnnyak E.* The biotesting of oil-oxidizing bacteria and fungi associations for the certification of new bioabsorbents and water remediation control // *Strategies for protection and remediation of natural environments. The third international meeting on environmental biotechnology and engineering*. Spain: Palma de Mallorca, 2008. 79 p.